

BUNRIKOKUSHA

物理教育研究

日本物理教育学会北海道支部

NO. 3

1975・3

目 次

Bernoulliの式の導出について一指導上の留意点――――――――――――――――――――――――――――	中 村 敏 明	1
光電スチッヂとカウンターによる重力加速度の測定	石 上 形 幸	4
Vortex Ringの話	吉 田 静 男	8
昭和49年度第2回「物理教育研究会」原著講演報告	辺 見 龍 夫	12
高校物理実験「力と加速度のシステム化」をこころみる	加 藤 誠 也	14
	池 田 清 俊	
	柴 田 稔 男	
学 会 ニ ュ ー ス		25
昭和49年度支部研究発表の記録		25

Bernoulli の式の導出について

— 指導上の留意点 —

旭川工業高等専門学校

中 村 敏 明

《はじめに》

Bernoulli の式 $PV = \frac{2}{3} Ne$ (N : 分子総数, e - 分子の運動エネルギー) は気体分子運動論の一部として多くの物理書に見ることができる。これは気体の圧力 P といった巨視量を、気体分子による力積といった微視量によって把握するところに教育的意味がある。即ち物理学における探究の一方法を学生に認識させる、或は習得させるために物理教育上欠かすことはできない單元である。しかしそのような重要な意義に反して現実には学生にとって理解が必ずしも容易でなく、又指導する立場からも学生に理解させることは仲々難しいように思われる。こゝで一考するに学生の理解を妨げていると思われる諸要素として次のような点が考えられる。

- 分子といった極めて微小な物体は Invisible であり、かつ現象に関与する数が巨大であるため実感として理解できること。
- 気体の圧力を気体分子の衝突現象から見える際、衝突現象そのものが瞬間的現象（力の作用時間が極小である）であり更に断続的な不連続現象であること。

以上の問題点を踏まえて、学生自から理解しつゝ Bernoulli の式を導出できるようにするための指導上の留意点及び工夫の一端を以下述べる。

1. 容器と気体分子

気体を閉じこめる容器として、稜長 ℓ の立方

1) 体容器を想定して扱っている物理教科書もあるがより一般性を与える意味では図 1 のように各稜長が異なる直方体容器の方が優っている
2)

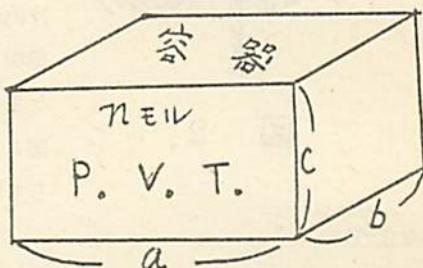


図 1.

また教科書によつては稜長を単位長の 1 の立方体容器を想定して扱っている場合もあるが、特に 1 という数値を計算が伴う事象に持込むことは教育的にみて避けるべきであろう。即ち物理的計算で最も重要な物理量間の関係が不明瞭になつてしまふからである。換言すれば 1 という数値は乗除の演算を行なつても結果が変わらず演算効果が表面に出てこない事による。この意味からして、容器に密閉されている気体の量 1 mol とせず ⁴⁾ n mol ⁵⁾ n No 個と一般性を持たせる方が良い。（Noi Avogadro 数） 1 かし一般性を余りにも導入することはそれだけ計算が煩雑になって学生を迷わしめる結果になるから学生の能力に見合う程度にすることが肝心である。

例えば容器内の莫大な気体分子の各々の速度は各個各様で一定ではないが、各分子の速度を一定（共通） u と想定する方が本道から外れないであろう。枝葉末節に精力を費して目標を見失うことのないように注意しなければならない。

2. 一分子の力積

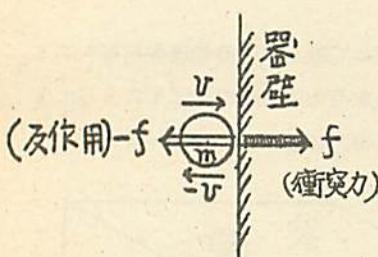


図 2.

らかなように、

$m(-u) - mu = (-f) \Delta t \therefore 2mu = f \Delta t \dots (1)$

(Δt :分子の作用時間=分子と壁の接触時間)
特にこゝで注意すべき点は分子の運動量変化が衝突力 f によるのではなく、その反作用 $-f$ によるものであることを指摘しておくことである。
即ち分子が壁面から受けた力と、壁面が分子から受けた力を明確に区別させることが大切である。以上によって一個の気体分子が一回壁面に衝突することによって、壁面が受ける力積 $f \Delta t$ は $2mu$ に等しいことが明らかになる。

3. 分子の運動時間

気体分子は永久的に運動し続けているので、運動時間をどう仮定するかが重要である。結論的に導き出される結果のなかに運動時間が含まれない（無関係になっている）から運動時間をどのように区切り切取るかは自由であるが、分子の運動時間を単に言葉で単位時間と指定するにとどめ、量的に明示しないのは抽象的であり

質量 m

の分子
一個が
器壁に
完全彈
性的に
衝突し
た場合

図 2.か
らも明

学生の理解を妨げる。またそれを具体化して運動時間⁷⁾を1秒間と仮定することは前述した理由から好しくない。そこで面と分子との接觸時間（作用・反作用時間） Δt と明らかに区別出来るように長い時間 t ($>>\Delta t$) を運動時間とするのが良い。⁸⁾

4. 分子の衝突回数

図 1.において、一個の分子が器壁の一面 $b-c$ 面に対して t 秒間に衝突する回数 q は $b-c$ 面とその対面との間を往復する回数と同等であることを明示するならば、往復に要する時間を計算するまでもなく、 t 秒間における分子の運動距離 ut と往復距離 $2a$ から $q = \frac{ut}{2a} \dots \dots (2)$ と衝突回数を容易に導けるであろう。

5. 一分子の全力積

一個の分子は仮定した（切りとった）運動時間 t 秒の間に、間断と面に対して非連続的に微小な力積 $f \Delta t$ を q 回与えることは理解されよう。しかしこれを集計（積分）し、それを時間的平均化することによって連続的な緩慢な力積に置換えるところが学生にとって最も理解し難い点であると思われる。そこで図 3.のような簡

単化した model を明示す

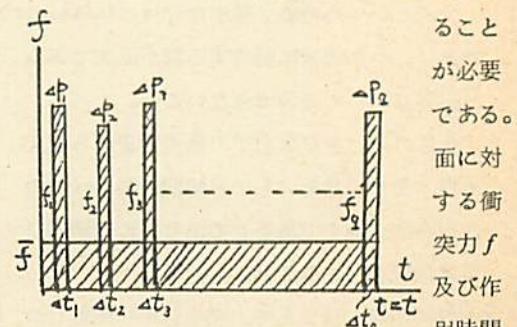


図 3.

ること
が必要
である。
面に対
する衝
突力 f
及び作
用時間
 Δt は
衝突す

ることに異なると考えられるから、当然一回の衝突によって分子が壁面に与える微小力積 $f \Delta t$

も衝突することに異なることは理解され得よう。よって図3より、 t 秒間壁面に一様に作用する仮定した力を \bar{f} として $f_1 \Delta t_1 + f_2 \Delta t_2 + \dots + f_q \Delta t_q = \sum_{i=1}^q f_i \Delta t_i = \bar{f} \cdot t$ とおける。若し微小力積 $f \Delta t$ は衝突ごとに変わることなく一定不变と簡単化するならば、一個の分子が壁面に対して、 t 秒間に与える全力積は簡単に $\sum_{i=1}^q f_i \Delta t_i = q(f \Delta t) = \bar{f} \cdot t \dots \dots \dots (3)$ となる。

6. 気体分子の総力積

対象と考えている $b-c$ 面に衝突する可能性のある分子数を求めるることは、厳密な統計的処理によらなければならないが初等物理では困難である。故に経験的に概算せざるを得ない。即ち容器中の気体分子（单原子分子を想定している）の自由度は左右、上下、前後、の三方向であることより全分子数 N （n No）個のうち $b-c$ 面に衝突する分子数は $\frac{1}{3}N$ と考えさせるより致し方ないと思われる。

そこで気体が壁面に対して一様に、持続的に作用している力 F を仮定することにより次式

$$\frac{1}{3}N \cdot (\bar{f} \cdot t) = F t \dots \dots \dots (4) \quad \text{とおくことが受容られるであろう。}$$

7. Bernoulli の式

既に掲げた関係式を連立し整理することから、仮定し導入した力 F が代数的に逆算し求めることは容易である。即ち以下の如くなる。

$$F = \frac{1}{t} \cdot \frac{1}{3}N (\bar{f} t) = \frac{1}{3}N \bar{f} = \frac{1}{3}N \frac{a(f \Delta t)}{t}$$

$$= \frac{N}{3t} \left(\frac{u t}{2a} \right) (2mu) = \frac{Nmu^2}{3a}$$

$$\therefore P = \frac{F}{S} = \frac{Nmu^2}{3a} \cdot \frac{1}{bc} = \frac{Nmu^2}{3V}$$

(但し $S=b c$ $V=a b c$)

$$\therefore P V = \frac{1}{3}Nmu^2 = \frac{2}{3}Ne$$

(但し $e = \frac{1}{2}mu^2$; 一分子のK・E)

$$\therefore P V = \frac{2}{3}U \quad (\text{但し } U: \text{気体の内部エネルギー})$$

おわりに

気体分子運動論は学生にとって理解し難い単元のひとつである。このことは物理教育の現場にある者の誰もが経験していることと思われる。この小論が諸氏の御参考に少しでも役立ちまた御批判を戴けるならば幸いである。

参考書

- 1) イ大学教育研究会 理工系基礎物理学
(東京数学社)
- ロ中 村 堅一 一般物理 (朝倉書店)
- ハ熊谷 寛夫他 高専の物理 (森北出版)
- ニ国富信夫他 一般物理 (東京書籍)
- ホ新羅一郎 物理学 (東京数学社)
- 2) 堀 伸夫他 物理学入門 (書店)
- 3) イ神村三郎 物理学要論 (コロナ社)
- ロ金原寿郎 高校物理 B (三省堂)
- 4) 近角聰信他 高校物理 B (東京書籍)
- 5) イ庄司彦六他 教養物理学 (内田老鶴)
- ロ朝永振一郎他 高校物理 B (大原出版)
- ハ大塚明郎他 高校物理 B (講談社)
- ニ野上茂一郎他 高校物理 B (実教出版)
- 6) 前出 1) イ、 2) 3) イ、 5) ロ、
- 7) 前出 1) ハ、 3) ロ、 4)
- 8) 前出 1) ニ、 5) ニ、
- 9) 前出 1) イ、 ロ、 ホ、
- 10) 前出 1) ロ、

光電スイッチとカウンターによる 重力加速度の測定

札幌香蘭女子学園高等学校

石上 形幸

高等学校における重力加速度の測定は主に単振り子を用いる。これは、実験装置や操作が比較的簡単ではあるが、生徒の側からいふと〔速度の変化- 加速度〕〔落体- 重力加速度〕等の直観的把握にはやや不向と思われる。この点に関しては、記録タイマーやストロボ写真を利用した測定法がより適しているわけであるが、筆者はフォトトランジスター・カウンター等を用いて、自由落下における落下距離と、そのときの速度とを測定して重力加速度を得ることを目的とした装置を試作したので報告する。

1. 測定原理と装置

測定装置の概略は図1に示す通りである。受光部TよりSなる高さから自由落下した物体Mが、光線Lをさえぎっている時間△tだけ電子カウンターCのゲートを開き、低周波発振器Gからくる信号(矩形波)の波数nを計数できるようにしておけば、時間△tは、

$$\Delta t = \frac{n}{f}$$

から得られることになる。fは発振器の発振周波数である。また、落下している物体が受光部Tを通過する時間=△tとすれば、そのときの落下速度vは次式であらわされる。

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

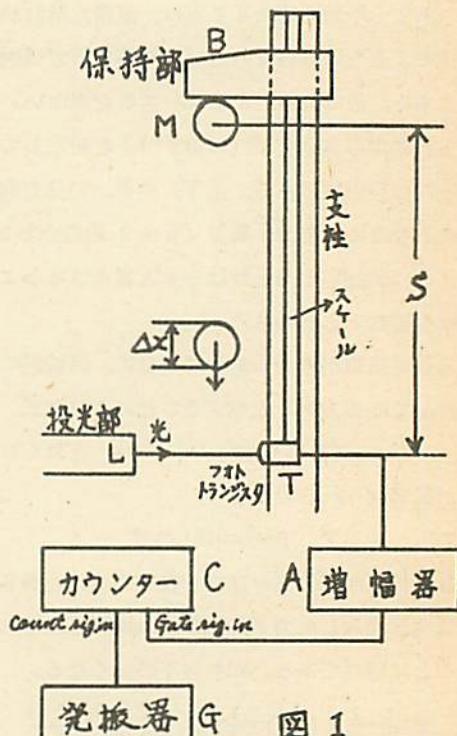


図1

ただし、 Δx は物体Mの落下方向の長さであって、落下距離sに対して十分小さいものとする。

重力加速度g、自由落下距離s、落下速度vには、

$$v^2 = 2gs \quad \therefore g = \frac{v^2}{2s}$$

これよりgを得ることができる。また、sに対するvをいくつか測定して $v^2 - s$ のグラフを描けば原点を通る直線となり、その傾きからgが求められるわけであるが、実際には空気抵抗がかなり効いてくるはずであるから、落下距離の増加とともにgの値は見掛け上減少すると思われる。

2. 装置各部の説明

(1) 支柱及び落下物体

長さ2.5m、5cm角の木材に、上下自由にスライドできる落下物体保持部Bを取りつけ、落下物体Mの受光部Tからの高さsが直読できるよう支柱にはスケールがはりつけてある。

物体Mが自由落下するときに水平に、かつ初速をもたないよう、保持部Bには電磁石を用いた。(図2)

物体Mは、直径約5cm、長さ20cmの塩化ビニルパイプの中央に適当な太さのボルトを2本埋めこみ、頭部を切り取った後ヤスリで滑らかにしてある。この部分を電磁石で保持するわけである。

(2) 光電スイッチ及び計数装置

受光部にはフォトトランジスタPD9L(またはPD8L)を用い、そこで得られたon-off信号を適当な增幅器(今回は有合わせのトランジスターで直流増幅回路を自作した。図3)を経てカウンターのゲートに入れる。ここで使用したカウンターは、ケント・To-604k(理振法該

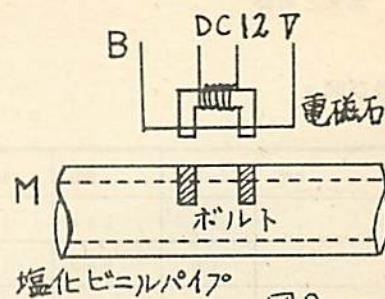


図2

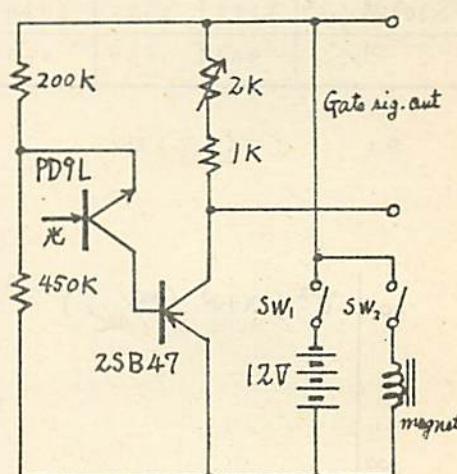


図3

品)で、ゲート入力0Vで開、-5Vで閉、また、計数速度20KHZ以上となっている。

発振器は、ケント・To-20G(理振)の矩形波をあらかじめ電動ストップウォッチ等で正確に測定して使用したが、適当な矩形波発振器が手近にない場合は、非安定マルチバイブレーターを利用した簡単な矩形波発振器を自作して使用することもできる。

投光部は、顕微鏡光源装置を使った。

3. 結果と考察

表1 及び図4

S cm	60	80	100	120	140	160	180	200
n1	162	141	127	117	108	102	96	91
n2	163	142	127	116	109	102	96	92
n3	163	142	127	117	108	102	96	92
n	162.7	141.7	127.0	116.7	108.3	102.0	96.0	91.7
$\Delta t \times 10^3$ sec	13.89	12.10	10.85	9.966	9.249	8.711	8.198	7.831
u cm/sec	343.1	393.8	439.2	478.1	515.2	547.0	581.2	608.5
$u^2 \times 10^3$ cm ² /sec ²	117.7	155.1	192.9	228.6	265.4	299.2	337.8	370.3
g cm/sec	981	969	965	953	948	935	938	926

表1 $f = 1.171$ KHz $\Delta x = 4, 7, 6, 5$ cm

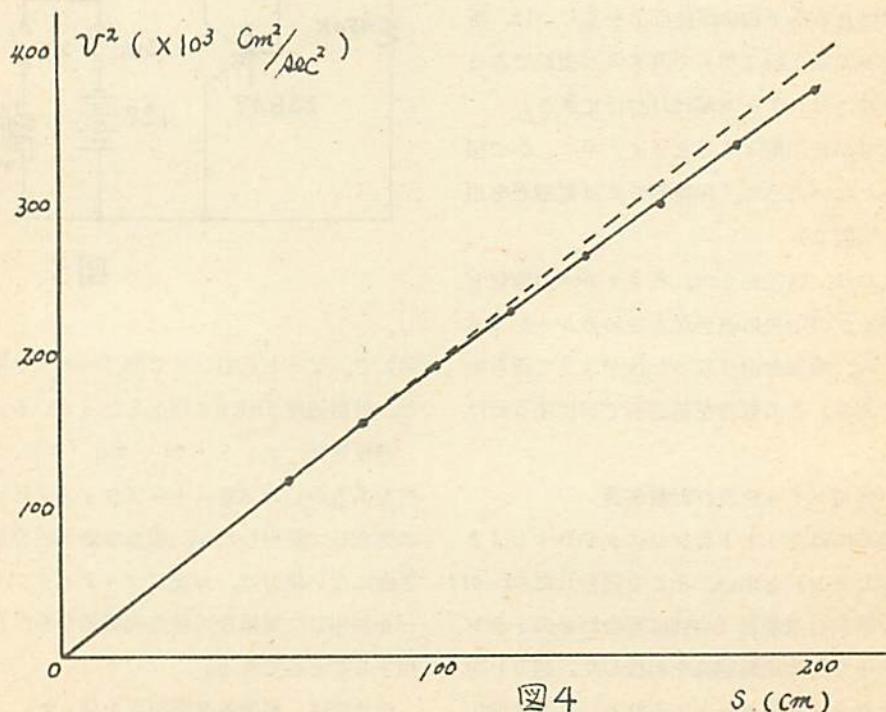


表1に実測例を示す。発振周波数は $f=11.71$ kHz、波数 ν は3回測定したものの平均値とする。

また、 $v^2 - s$ のグラフを描くと図4のようになる。実線は $v - s$ の実測値、破線は $\gamma = 980 \text{ cm}^2/\text{sec}^2$ とした場合の計算値によるグラフである。

落下距離 s が大きくなるにしたがって、表1では γ の値が減少しているし、図4では両グラフのひらきが増大する傾向にある。この主たる原因是、やはり空気抵抗にあると考えられるが、その定量的な考察は興味あるところである。また、落下速度が大きくなると、カウンターの計数値が小さくなるので相対的に誤差が大となつて、データにバラツキが目立ってくる。

その他、結果に片寄った傾向や誤差をもたらせる原因として、

1) 落下距離 s 及び物体Mの直径 Δx の測定誤差

2) 物体Mが水平を保って落下しないこと

3) 光が平行光線でないこと

4) 落下速度 v を Δt 間の平均速度とすること

5) 発振器の周波数測定誤差

6) フォトトランジスタの入光部に幅があることと、カウンターのゲート電圧の大小とが計数値に影響を与えること。

などの大半は適当な処理や測定の精度を高めることによって十分小さくすることができるが、フォトトランジスター・增幅器・発振器及びカウンターの応答特性や安定性による影響等については相応の検討が必要である。

参考文献

- 1) 実用トランジスター回路集(誠文堂新光社)
- 2) トランジスター規格表(CQ出版社)

Vortex Ring の 話

北海道大学工学部

吉 田 静 男

ごく有触れた、しかも簡単にその機構のわからそうな物理現象でありながら、詳細に調べてみると、思いのほか内容のある問題が多いものである。その卑近な例として、誰でも一度は見たことがあるであろう「煙草の煙の輪」を挙げることができる。流体力学書を見るとそのほとんどが等しく「煙草の煙の輪」を Vortex ring としてとらえているが、そこにはもっと重要な mechanism が見のがされている。

国内の流体力学書として有名な谷一郎著の「流れ学」(1) があるが、その P64~67 に「煙草の煙の輪」について、他の著者によるものと大差のない解説が加えられている。これによると、吐出された煙が、或理由(同書の P81 参照)で doughnut 型の輪になるが、一度 doughnut 輪ができると

$$\frac{P}{L} \left(1 + \frac{8L}{d} - \frac{1}{4} \right) \quad (\text{補・1})$$

という速度で、粘性によってその運動 energy が失なわれるまで運動し続けると書いてある。ここに P は図書 P59 に定義される循環と称せられる量であり L は渦直径、 d は渦の核の直径である。これは図 1 のごとき速度分布を発生しなければ Helmholtz の渦の保存定理に反するという制約から得られる帰結であって、煙草の煙の輪を説明するには十分な説明とされている。

筆者はあるきっかけから透明な淡水中に滴下

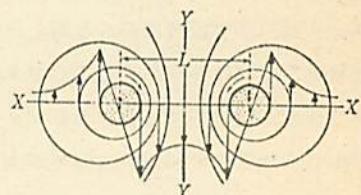


Fig.1

する色水が、淡水中に見事な Vortex ring を作り出すことを発見した。ところが、「どんなに小さな事でも誰かが研究している」という例にめれず、この ring は 1961 年九州大学の岡部、井上(2)によって発見されており、かの有名な G. K. Batchelor(3)の著書 Fluid Dynamics の Cover の写真に使用されていた。ただ厳密な計算をするまでには至っておらず、単に興味ある現象として記述されているにすぎなかった。

筆者はこの Vortex ring が、煙草の煙の輪と同じ機構で作られるものであると考え、さらに実験を進めて Vortex ring の発生から消滅までの過程を追ってみた。実験装置は、いたって簡単で透明容器に水道水を入れ、乱れのおさまったところへ水面上数センチメートルのところから、水道水とあまり比重のちがわない色水を滴下させるものである。

色水の Vortex ring は通常 Fig.2 のごとく見えるが、ring の降下速度は、水面近くでは、ほとんど、液滴の水面での速度に等しく、水面下深く位置するにつれ急激な制動を受けて静止してしまう（容器が浅いと ring が底に激突して崩壊してしまう）。この現象は上述の Vortex ring の説明では解明できない点を多く含んでいる。まずできた Vortex ring がなぜその直径を大きくするのか、又、たとえ何らかの原因でそうなるとしても降下速度の制動があまりにも大きすぎるのではないかという疑問がそれである。ともかく色のついた Vortex ringだけを見ていたのでは何ら解決しないことが分かるはずである。

この不思議な現象は、色のついていない、まわりの水の運動を知ることによって、ほぼ説明することができるが、その運動の様子は水中に適当な tracer をばらまいておくことにより可

能であり、通常、Fig.3のごとき流線図が見出される。この図から色水は、実は閉じない1本のらせん状の流線に一致していること、及びこのらせんの色水膜のすき間には透明な、まわりの淡水で満たされていることがわかる。ここで最も興味深いことは、液滴がその進行方向と逆の背後から、まわりの淡水を吸引している事実である。この淡水の吸引によって液滴は雪だるま式に成長し、その結果として速度の激減が見られ、ring すなわち渦核の中心は、成長した液滴に見合った（勿論力学的に矛盾のない）位置に移動する様に見える。

単に容器側に tracer をばらまくだけで Vortex ring を定性的に、もっともらしく説明ができるが、厳密に運動方程式にもとづいて説明しようとしても、今のところ困難であり、著者の Vortex ring の運動に関する解釈が正しいかどうかは、まだ可成の時間を要しなければ分から

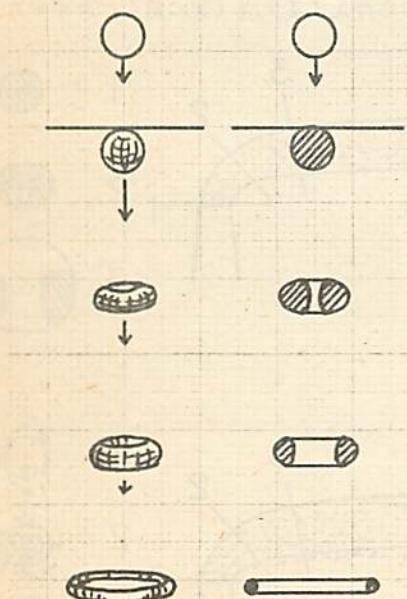


Fig.2

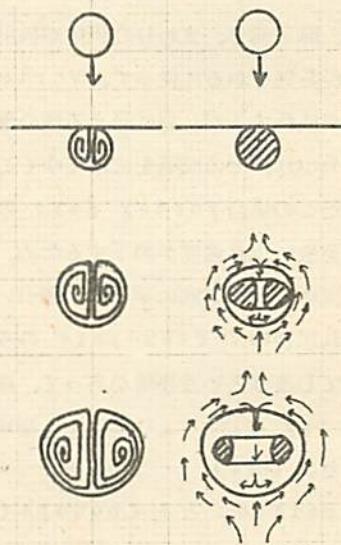


Fig.3

ない。T. Maxworthy (4) は著者と同様な実験を行っているが、より定量的で、十分説得力のある研究となっている。(ただ Vortex ring 形成の initial stageにおいて、有形の出口が必要とする Maxworthy 及びこれまでの流体力学書の見解は、筆者の実験では出口なるものが存在しない故、受け入れ難く、今後検討されねばならない問題である)(補2.3)

流体力学的にも、非常に興味のある液滴内部への淡水吸引の機構は、単に Vortex ring だけでなく Vortex pair においても見ることができる。Vortex pair というのは ring とちがって直線渦が平行にならんで対をなしたものを使う、「物理教育研究」16.2 の gravure がその好例である。これも煙だけを見ていたのでは実に不思議な現象といわねばならぬが、煙の近傍にトレーを配すると、理にかなった現象であることが分かる。やはりこの場合も Vortex ring 同様 Fig.4 に示すごとく、風下側で、まわりの流体が吸引され、煙筒出口から遠ざかるに従って、Vortex pair が成長するが、目に見える煙の部分は 2 すじに分かれ、その間隔を広げてゆくことになる。ただこの場合 Vortex pair の成長につれて急激に上昇速度が降下するため、煙は、まわりの流体の流れ方向に平行に、棚引いてしまい、それ以後の Vortex pair の成長はなくなってしまうという事情がある、機械的には Vortex ring よりはるかに複雑な現象といえる。(補4)

D.D.Papailiou と S. Lhoudis (5) は vortex が列をなす、Kármán 渦列が、その発生源から遠ざかるに従って、対する列との間隔を広める理由としてやはり、まわりの流体の渦列内への吸引を主張しているが、Vortex

ring あるいは Pair の吸引機構にならえば十分納得のできる主張である。Vortex ring の吸引現象は、上述の例に見られるだけでなく、乱流や界面の安定問題の initial stage の解明に重要な意味をもっており、その研究はなお一層深まりつつある。(6)(7)

煙草の煙の輪ではじまった話が、随分とおおげさな結末となってしまったが、こういう類の例は案外どこにでも潜んでいるのではなかろうか。最後に、昼食時、余ったミルクをコップの中にひとしづく落され Vortex ring のふるまいを窺と観察されることを、おすすめして話を終えることにしたい。

(補1) 谷の「流れ学」にはこの式は掲げられていない。線渦の曲率を考慮した式である。

(補2) Vortex ring の具体例として、水底から浮上する気泡(実に驚くべき事実)、

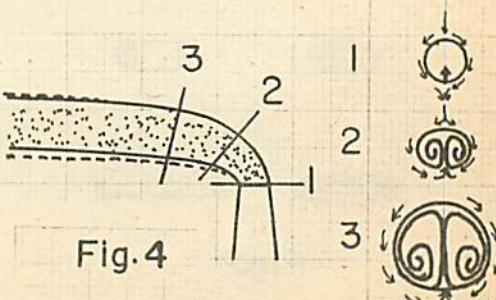
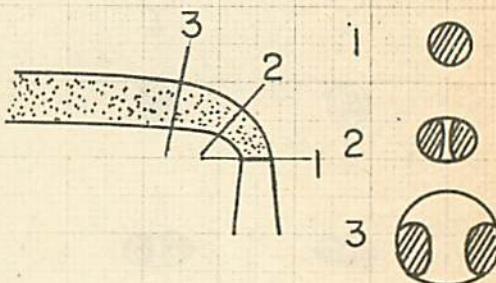


Fig.4

大気の thermal-buoyant puff、火山の puff 状噴煙。原爆雲。2次元の例としては潮汐にもとづく河川水の puff 状流出等挙げることができるが、要するに、流体塊がある初速をもって静止流体中に放出される場合に見られる。

(補3) これまで、Vortex ring は次の特性を有するとされてきた。本文中にも述べたごとく渦輪の速さは輪の半径 L が増すと減少するため「共通な対称軸上で互にある距離だけ離れた二つの渦輪は面白い動きをする。うしろの渦輪にともなった速度場は、前の渦輪のところで外向きに放射状にひろがる成分をもち、前の輪は次第に大きくなる (ρ は一定)」。これは、その動く速さを減少させるが、それと同様に、うしろの渦輪の速さは増加する。結局うしろの輪が大きな輪をくぐりぬけて、こんどは前の輪になる、こうして動きがくりかえされる（文献3の P523～524）」しかしこの特性はここでいう doughnut ring には存在しないことを Maxworthy が確めている。このことは重要であって、doughnut ring は Fig. 1 に示すような速度分布を発生しておらず、Fig. 3 に示すごとく、球の境界を有し、境界の内部にのみ Vortex が集中していて、境界外とはほぼ独立の運動をしている。

(補4) Vortex pair の例は、海底から浮上する連続的な oil 放出、海上からの重い廃液の連続放流、火災時の加熱上昇流等要するに、流れの存在する液体場にその流れと交差する方向に連続的に流体が放出される場合に見られる。最近の研究によれば放出速度と場の流速がある程度以下になると後方からの吸引がみられなくなるという結果が得られている。

文 献

- (1) 谷一郎：流れ学 第3版（岩波全書）
- (2) OKABE, J. and INOUE, S. 1960 Rep. Res. Inst. Appl. Mech. Kyushu U. 8, 91
- (3) BATCHELOR, G. K. 1967 An Introduction to Fluid Dynamics, Cambridge University Press.
- (4) MAXWORTHY, T. 1972 J. Fluid Mech. Vol. 51, part 1, pp. 15—32.
- (5) PAPAILIOU, D. D. and LYKOUDIS, P. S. 1974 J. Fluid Mech. Vol. 62, part 1, pp. 11—31
- (6) WINANT, C. D. and F. K. BROWAND 1974 J. Fluid Mech. vol. 63 part 2, pp. 237—255
- (7) 吉田静男：土木学会第29回年次学術講演会講演概要集 水理部門

第2回 物理教育研究会 原著講演報告

辺 見 竜 夫

支部年間行事の一つである物理教育研究会の
第2回目が、さる昭和49年12月7日土曜日
P.M. 1時30分より北海道大学工学部におい
て、多数の参加者のもとに活発に催された。

以下P.M. 1時30分から、P.M. 4時00分
分にかけて行われた原著講演の内容を報告する。

発表された原著講演は全部で3編である。

講演1.

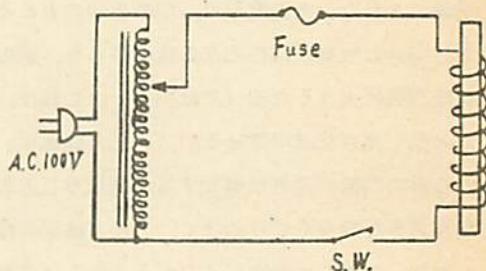
“交流電流による棒磁石の付磁”と題する網
走市立網走小学校の後藤将允先生の研究発表は
極めてユニークなものであった。コイルを用い
て鉄を磁化させるなら、コイルに直流を流すと
いうのがあらかじめの常識である。その常識をや
ぶり、あえて交流を用いたというところに本研
究の独自性と研究発表に対する高い関心の要因
があるやに思われる。

小中学校の理科室にある教材用の棒磁石の中
には、磁気を失って使用できない状態のものも
多数ある。これを何とか簡単にしかも強く磁化
させたい、ということが研究の発端である。原
理のねらいは、交流といえども極めて短い時間
間隔をとってその中の現象を扱うときは、場
合によっては直流の働きによるとみなせること
を利用している。

すなわち、図1に示すように、適当なコイル
(本研究では既製の付磁用コイル)にヒューズ
とスイッチSWを直列に接続し、オートトラン

スの2次側につなぐ。

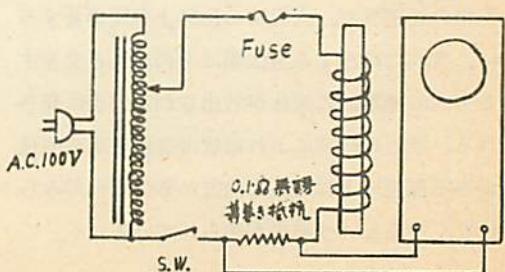
図1



SW.を入れて、回路を閉じると過大な電流
が回路に流れヒューズは熔断する。この熔断直
前のコイルに流れた電流により、棒磁石の磁化
が決定される。

発表では、最初付磁用コイル、電圧、ヒュー
ズのおおのの違いによる棒磁石の残留磁気への
影響を調べている。次いで図2に示すように
シンクロスコープを用い、付磁を決定する電流
と残留磁気の関係を、向きと大きさについて、
詳細に調べている。図2.

シンクロスコープ



結果の考察によると、

1. ヒューズ熔断時の電流は確率的である
2. 使用電圧の高さと電流の強さとの間には対応関係が見られない

ということである。また、熔断直前の電流の向き、大きさと棒磁石の残留磁気の極性とその大きさは対応しているようであると結論を下している。

なおこの原著講演は発表者が急な病気のため北海道理科教育センターの秋山敏弘先生によって代講された。

講演 2.

“「探究の過程」、「科学の方法」への一考察”と題する札幌藻岩高等学校の山田大陸先生の研究発表は、「探究の過程」および「科学の方法」を重視する理科教育の現代化の理念が、現教育課程での具体化の実状を調べてみると、それが実現されているとは必ずしもいいがたいように思われる、ということを主張している。

すなわち、「探究の過程」は操作主義や方法論だけの学習として、また「学習の方法」は、科学研究者の研究方法の直接導入といった面が見られる。これらの点の問題を、現行教科書の内容分析、日本戦後理科教育史との関連で考察してみたものである。

講演 3.

“波束と物質波”と題する札幌北斗高校の飯田紀子先生の研究発表概要是次の通りである。

二重性を有する基本粒子の説明には、波束の概念が引用される。波束は、一群の平面波を重畠して得られる空間的・時間的に有限な大きさの波動である。ここでは、波束と二重性の数学的考察を通して、古典的波束の物理的解釈が、二重性を有する粒子において、どのように適応、

かつ、修正されていったかを検討している。

結論として、二重性をもった粒子に付属する波動は、物理的実在性をもたない、数学的手段としての確率波である。その波動性が具体的に現象となって観測にかかるのは、無数の粒子の集團による統計的振る舞いを通してのみ可能とされると結んでいる。

以上 3 編の原著講演に対し、それぞれの発表が終った後適当な時間をとって、物理教育の観点から熱心かつ活発な質疑応答が展開されたことを付言しておく。

高校物理実験「力と加速度」のシステム化をこころみる

北海道室蘭清水丘高等学校

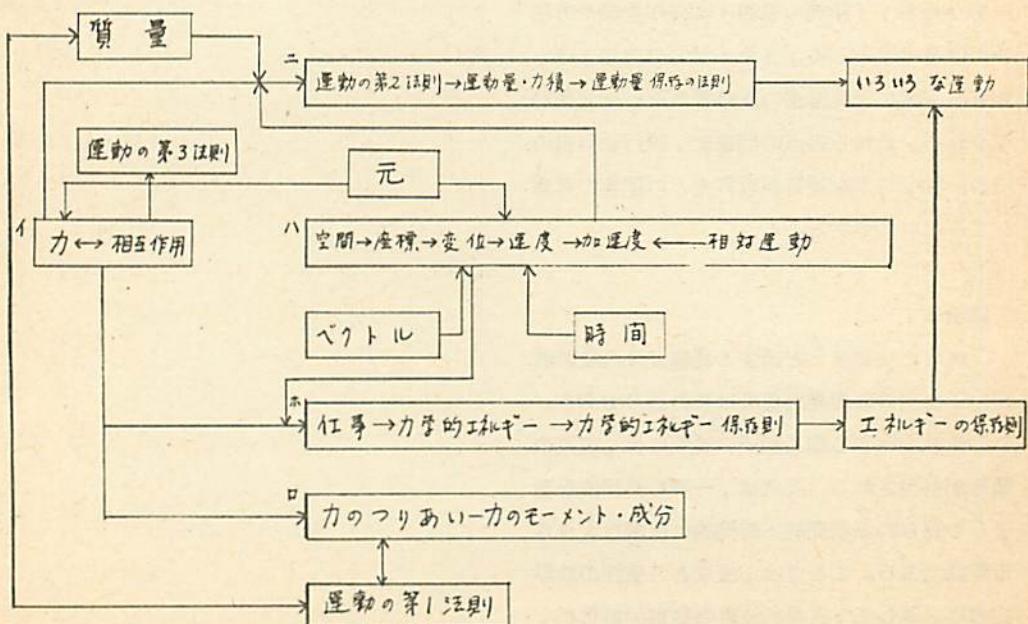
加藤 誠也
池田 清俊
柴田 稔男

1. はじめに

高等学校における理科一物理一に関して、最もベーシックで重要な内容を持っていながら、それについての実験が最も実施されていない教材のひとつは、運動の第2法則についてである。5年前よりわれわれはこのテーマとあえて取り組み、台車等実験の運動系について、いくつかの器具を開発して来た。加えて、昭和48年度

より、「教授学習方法のシステム化」に関する二ヶ年に渡る研究の依頼を北海道立教育研究所より受け、システム化という教育工学的な手法を本実験の展開・発展に使用することになった。自然科学の手続きと、法則や原理の背後に在るものについて、いくらかでも触れさせておきたいと考えたからである。紙数の関係があり、授業の分析結果等これ等の全てを記すことは出来

図1



ないが、ひとつは物理学の内容について、またひとつは教授学習の方法について、皆様方の御叱正を頂ければ幸いである。

2. 研究

1) 力学の構造

実験を構造的に展開・発展させるため、力学の構造を下図のように設定した。図でイ、ロ、ハ、……は展開の順序を示しているが、これによって実験に関するレディネス、下位目標等の設定・構成が可能となった。

2) 時間配当

作業量の多い実験であるため、当初4時間を配当してあったが、二ヶ年間の実施の結果、本実験より加速度算出の部分を運動学としての解折・実験として座標・変位、速度を含めてこの実験の以前にひとつの項目をもうけて移し、配当時間を3時間に短縮した。これによって生徒のレディネスが充分なものとなり、実験の主題がより把握し易くなった。尚この実験は最終時間を発表学習の形式をとり、各班からの報告、反省をもって終了する。ひとつは冒頭で触れたようにいくらかでも科学の手続き等について体得させたかったこと、もうひとつは、高校としては最初の時間の費す、班全員がそろって相当の作業量を負担しなければならない実験として、その結果を各班毎に発表し合った方が、各班、各自に知らず知らずに反省させるところとなり、次の実験から好結果を生むことが期待されたからである。

3) 前提学力、下位目標

2の1)からの関連として各時間毎の下位目標等の構造は表I～IVに示すとおりである。
なお、2時間目と3時間目の間に下位目標を設定したのは、勿論3時間目の発表学習をチ

ックするためである。こゝに5～7日程度の日数を要するが、これまでの結果によると、生徒はこゝで班毎にかなりの検討・討議・調査等、又場合によっては再実験を申し出る班もあり、本実験中非常に大切なポイントとなっている事がわかっている。

4) 授業案(フローチャート)

実験の流れをよくするためと、システム化の要請のひとつとして、授業案はフローチャートによるものとした。本実験のように、データをとる段階、データから算出する段階、さらに算出されたもの、グラフ化からそこに在るしくみを導出する段階と、実験が各段階に分かれ、しかもそのいずれでも作業量がかなり多い場合は、フローチャートによる指導はかなりの成果を上げるものと思われる。但し、三ヶ年の実施の結果から反省点として、イ) 教師の設個性的な指導にならぬよう配慮すること。ロ) 本実験に関しては、各班にも、作業の進度、及び疑問点が出た場合どこをチェックすればよいか等の簡単なフローチャートを与えておくこと。が大きなポイントとして上がっているが、コンピューターのプログラミングの方法論として確立してきたこのフローチャートは、設個性化の恐れはあるにせよ、実験に限らず他の分野でも有効な働きを示すことがかなりあるように思われ、理科のみならず今後の成果を期待したいと考えている。(表V、VI、VII、VIII)

表I 1時間目

分析段階		運動方程式 (実験結果と法則の適合)
本時数段階の位置		シリーズ実験のうち1時間目 (準備段階及び分析段階の一覧)
日 標	実験及公データー処理から運動の方程式を導きその方法手順を審査して説明できます。	
前 條	R. 力と速度の原因として操作的E走行を考慮せよ。記録より一走行より二種類がござり、これは、走行距離と走行時間より走行速度を算出することができ。	
標 値	1. 分析の運動方程式をうち3実験として筋道の速度をカウント量を指摘せよこれが3量の測定方法を具体的に説明することができる。 2. M-Mdの3量の関係を求めるためにあたり、Mを一定とした時のF-dの関係、Fdを一定とした時のM-dの関係を中止せずしてこれらは理解されて説明することができます。 3. 本実験の原理に行えられた実験結果E正しくセイサムになります。 4. 実験系の操作に懇意し正しくデーターを取らなければなりません。 5. 一定のMにて若干F-dの関係をグラフ化する方法を説明手順がござります。	
解 析	⑥ → ① → ② ⑥ → ③ ⑥ → ④	
問 題	② → ① → ② → ④ → ③ → ④	
使 用 工 具	台車、角鐘、糸、フック、ばねばかり、 標準、標準台、タイマー、テープ、懸錘 カーボン紙、タイマー、走行用インカム、 シンクロスライド、台秤、OHP、TP	

表II 2時間目と3時間目の間

本時数段階の位置		2時間目と3時間目の間 (データー処理とレポート作成)
日 標	実験及公データー処理から運動の方程式を導きその方法手順を審査して説明できます。	
前 條	R. データーのデーター分析から各加速度を容易に算出せよ。 R2. データーのばねつまみ処理レポートを書くことができる。	
標 値	1. 前までの実験でデーター分析を終えた結果から各M速に対するF-dの関係をグラフ化することができる。 2. F-dのグラフからF-dの比例関係を導出することができる。 3. F-dアラフドムーブメント時のM-dの対応関係を求めてM-dの関係をグラフ化することができる。 4. FのグラフからFが一定の時MとFdが反比例関係にあることを帰納することができる。 5. FとMdの関係をグラフ化しMとFdが比例関係にあることを説明することができる。 6. 以上2点を審査して実験資料をつくりその内容を説明できます。	
解 析	⑥ → ② → ① → ② → ③ → ④ → ⑤ ⑤ → ⑥	
問 題	⑥ → ④ → ① → ② → ③ → ④ → ⑤ → ⑥	
使 用 工 具	シンクロスライド、テープ、タイマー、 シンクロスライドシート、 OHP、TP、カーボン	

表II 2時間目

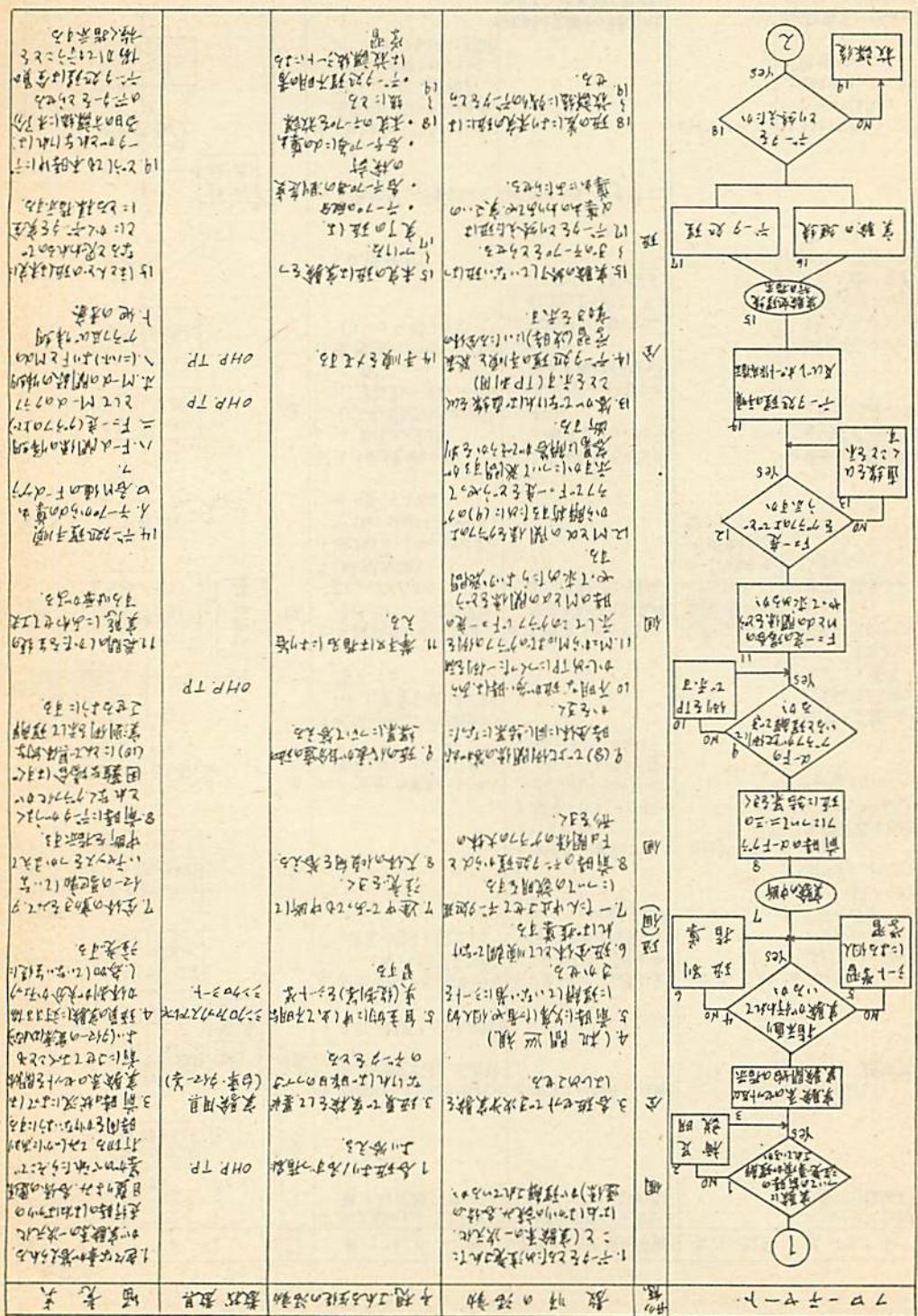
本時数段階の位置		シリーズ実験のうち2時間目 (測定の修正とデーター分析)
日 標	実験及びデーター処理から運動の方程式を導きその方法手順を審査して説明できます。	
前 條	R. 実験を行なうたゞくと自分で操作を把握し実験系の確認をせよ。 R2. 前時のデーターからF-dのグラフの大体の形を予測し説明せよ。	
標 値	1. 実験系の操作を行なって再確認し、前時の注意事項を参考せよがござる。 2. 前時に比べて正しくデーターを取り扱うことができる。 3. 地の面のF-dのグラフの結果と自らのF-dのグラフと比較してMdの比例関係を測定せよ。 4. その結果を用いて、Mdが一定の時のM-dの関係のグラフ化を行うことを測定せよ。 5. MdよりMdの関係をグラフ化することによりMdの関係とM-dの関係が一致化されることがわかる分析の手順を説明せよ。	
解 析	⑥ → ① → ② ⑥ → ③ → ④ ⑥ → ① → ② → ④ → ① → ② → ⑤	
問 題	⑥ → ② → ① → ④ → ⑤ ⑤ → ⑥ ⑥ → ① → ② → ③ → ④ → ① → ② → ⑤	
使 用 工 具	台車、角鐘、ばねばかり、懸錘、糸、フック、 標準、標準台、タイマー、テープ、カーボン紙、 タイマー、走行用インカム、シンクロスライド、 シンクロスライドシート、シンクロスライドシート 台秤	

表III 3時間目

本時数段階の位置		シリーズ実験のうち3時間目 (まとめと発表資料)
日 標	実験及公データー処理から運動の方程式を導きその方法手順を審査して説明できます。	
前 條	R. 自身の資料を整理し、その内容について分析せよ。 R2. 資料を整理して発表せよ。	
標 値	1. 自身の運動における実験、実験系の意味について説明せよ。 2. VTR視聴により実験して見た過程を想起せよといふことである。 3. 自己の資料について他の生徒との資料過程を明らかにしてうらんこ成せよ。 4. 自己の資料と発表用資料と比較して通過の結果を発見せよ。 5. FとMdの関係をグラフ化することによつてMdの関係が散式化されることが説明せよ。	
解 析	⑥ → ① → ② → ④ → ⑤ ⑤ → ⑥ ⑥ → ① → ② → ③ → ④ → ① → ② → ⑤	
問 題	VTR、VTRテープ、台車(ばねばかり) OHP、TP	

表V

フロー チャート	手 順	教 师 の 活 動	予想される生徒の活動	教具・教具	留 意 点
1. はじめ 2. 本時の目標と問題意識を述べる 3. 前時評議の基本事項が理解されていないか? No → 4. 説明 Yes → 5. 本実験ではMとFと三者の関係を調べることとする 6. FとMのうちどれを固定するか? 7. はい → 8. MとFとGを用いて台車を走らせる いいえ → 9. 三者のうちMとGを用いて台車を走らせる 10. 現象を観察する 11. 実験系のセットを指示する 12. 実験系をセットされたりか? 13. 目盛り読み取りと記入実験 14. 本実験の指示 15. 顎調にデータをとらね 16. データ処理について指示 17. 1. 本実験のねらいと本時中に解決した問題を明かにする 2. 物体に力を加えて時の運動の速度の測定等についての範囲 3. 範囲に解答がなければ説明 4. 実際に台車をみせて台車の運動の速度について考える 5. 加速度は固定(いい)ことを知る 6. 加速度、質量、加速度のうちどれかを固定してから、いかにして発現するか? 7. 質量一定として台車にかかる角速度を2回、4回、6回、8回、10回の種類にすることを知る 8. 実験器具をセットせよ。各構成部について実験書より指示する。 9. (机間巡回) 10. 巡視していく側の方に不備があれば指摘してやり直しをさせよ。 11. 2~3回練習せよ a. 各種の運転 b. 台車の位置がはまらない場合 c. 運動の系の一次元について強調。 12. 実験書に従ってデータをとることを指示する 13. (机間巡回) 14. 不備な所に注意をうなぐ 15. 運転中であっても中断する 16. 今日とれたデータをまとめにまとめてFとMとGとを次時までいくところを指示、次時は今日とれなかったの二つのデータをとることを指示。	全個	1. 実験を通じて法則の立証であることを確認する 2. 举手又は指名による解答 3. 范囲に解答がなければ説明 4. 台車を中心として運動系から加える力が台車と角速度の関係による質量の変化としての加速度を把握する 5. 加速度は固定(いい)ことを知る 6. 質量一定として台車にかかる角速度を2回、4回、6回、8回、10回の種類にすることを知る 7. 実験系をセットする。各構成部について実験書より指示する。 8. 実験器具をセットせよ。各構成部について実験書より指示する。 9. (机間巡回) 10. 巡視していく側の方に不備があれば指摘してやり直しをさせよ。 11. 各種の運転、各構成部の位置がはまらない場合の運転等を2回以上見る。 12. 本時にかかる角速度を2回のせに時のFを変えたデータを5本と3つにする。 13. 運転中の目盛り読み取り実験の順序をあわせて目を動かして読み取る。 14. タイマーのスイッチの入出力スケートの回転、走行台のスタート/停止、停止時に注意。 15. データをとるときに注意。 16. MとGの合のFとMとGとを次時までまとめてFとMとGとをとる。 17. 1. このシリーズ実験のもう一つ意味を説明する。 2. ストロボについては前時に説明済。 3. 加える力はふわり重力にふりはね(23.1)の目盛りは読み取れる。これを理解してから運動中の読み取り実験の力とすること(11)で指示。 4. 質量力等は力の要素にすべて含まれることを指摘する。 5. 実験の実験でもMを変えるかFを変えることや容易Mを一定にすると、FとGとしてグラフ化しやすい。 6. 現象の協力はより早く丁度せよ。 7. 実験の実験でもMを変えるかFを変えることや容易Mを一定にすると、FとGとしてグラフ化しやすい。 8. 現象の協力はより早く丁度せよ。 9. 11運転中の目盛り読み取り実験の順序をあわせて目を動かして読み取る。 10. 12. タイマーのスイッチの入出力スケートの回転、走行台のスタート/停止、停止時に注意。 11. 13. データをとるときに注意。 12. 14. 運転中の目盛り読み取り実験の順序をあわせて目を動かして読み取る。 13. 15. データをとるときに注意。 14. 16. MとGの合のFとMとGとを次時までまとめてFとMとGとをとる。 15. 17. 1. このシリーズ実験のもう一つ意味を説明する。 2. ストロボについては前時に説明済。	台車・台秤	OHP, TP	1. このシリーズ実験のもう一つ意味を説明する。 2. ストロボについては前時に説明済。 3. 加える力はふわり重力にふりはね(23.1)の目盛りは読み取れる。これを理解してから運動中の読み取り実験の力とすること(11)で指示。 4. 質量力等は力の要素にすべて含まれることを指摘する。 5. 実験の実験でもMを変えるかFを変えることや容易Mを一定にすると、FとGとしてグラフ化しやすい。 6. 現象の協力はより早く丁度せよ。 7. 実験の実験でもMを変えるかFを変えることや容易Mを一定にすると、FとGとしてグラフ化しやすい。 8. 現象の協力はより早く丁度せよ。 9. 11運転中の目盛り読み取り実験の順序をあわせて目を動かして読み取る。 10. 12. タイマーのスイッチの入出力スケートの回転、走行台のスタート/停止、停止時に注意。 11. 13. データをとるときに注意。 12. 14. 運転中の目盛り読み取り実験の順序をあわせて目を動かして読み取る。 13. 15. データをとるときに注意。 14. 16. MとGの合のFとMとGとを次時までまとめてFとMとGとをとる。 15. 17. 1. このシリーズ実験のもう一つ意味を説明する。 2. ストロボについては前時に説明済。
1	全	次時実験の実験結果を登録し収納する。			放課後算定に班員がまとめてデータをとる。(次時に到ります)



表III

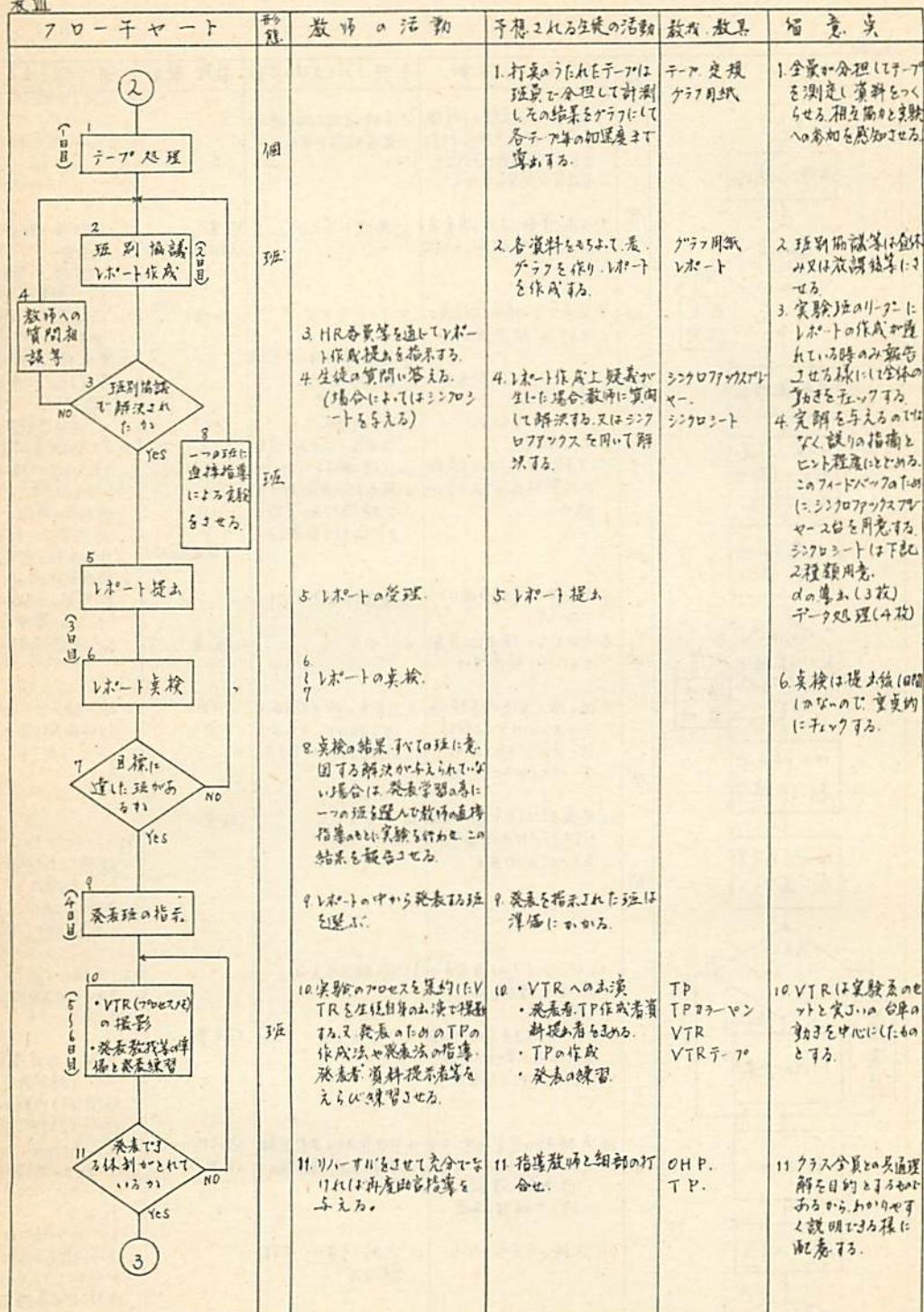


表 VIII

フロー・チャート	形態	教師の活動	予想される生徒の活動	教材、教具	留意点
<p>③</p> <p>1. 本時の目標と授業</p> <p>2. 基本問題が理解されていないか → NO: 次回説明</p> <p>3. 充分でない場合に限り発表者をせらるに補足説明</p> <p>4. 発表班指示</p> <p>5. VTRによる運動系と実験法の正確認識</p> <p>6. 発表班の発表</p> <p>7. 今のが理解できなかったか → NO: 次回説明</p> <p>8. 他の班の測定例の紹介</p> <p>9. 比例式と算式に直す</p> <p>10. 次式でF=Mxの定義か → NO: F=Mxの定義 → YES: F=Mxの定義</p> <p>11. まとめ</p> <p>12. 次時への予告</p> <p>13. 班員の感想</p> <p>14. ふわり</p>	全	1. 本時はシリーズ実験の3時間目であり発表を中心としたまとめの時間であることを本時の予告等を述べる。 2. 台車の運動についての要素実験系の意味等について質問。 3. 充分でない場合に限り発表者をせらるに補足説明。 4. すべてにわたる発表班に準備 OHPのセット TPRの整理、TVのスイッチを入れる。 5. VTR始動 (実験のセット)及び(運動の比較)を画面とみせながら説明。 6. 発表班の発表(OHP) 口頭説明者と資料係とか協力して発表する。 7. 発表班の確認事項について質問。 8. 充分でない場合は発表者をせらるに補足説明。 9. 他の班の測定例を紹介 F-αのグラフ(2例) M-αのグラフ(2例) F-Mxのグラフ(全部)。 10. 発表班のTPをつかって比例式(F=Mx)と等式(左F=Mx)に直す。 11. (12)に丁寧に各要素の単位を確認する。(質問) 12. グラフの傾きから比例係数を求める。力の単位の意義とともにF=Mxを導く。 13. 本時までの宿題内容についてまとめてする。 - 運動系の確認 - データ処理順序 14. 本時までの宿題内容についてまとめてする。 - 運動系の確認 - データ処理順序 15. 次時の予定を述べる。	1. 本時の目的及び本時の予定を明確にする。 2. 発問に答える。 3. ノートをとる。 4. 発表班はOHPを使用資料TPR準備等を整理しながら操作VTRを視聴する。 5. VTRは発表班発表の準備について作成したもの(約1分)運動系の説明、異なる条件による台車の運動の比較。 6. 発表者は内容によく理解し確認したこととその難度(2)を確認する。 7. 発問に答える。 8. ノートをとる。 9. 自分達の班のデータと他の班のデータを見て比較する。 10. ノートをとる。 11. 発問に答える。 12. ノートをとる。 13. 自分達がこれまで実験分析を明確にする。 14. 次時の予定について確認する。	台車 (はねばね)	2. 台車に力を加えた時の運動 - 加速度・力・質量は何で測定するか - 三变量のうち何が固定しているか。 4. 発表班はOHPを使用資料TPR準備等を整理しながら操作VTRを視聴する。 5. VTRは発表班発表の準備について作成したもの(約1分)運動系の説明、異なる条件による台車の運動の比較。 6. 発表者は内容によく理解し確認したこととその難度(2)を確認する。 9. 他の班のグラフ(は教師かあらためTPで作成している)。 11. (2),(7)のエックの状態について(12)(13)に至る場合など、手元の写真も見ていく場合がある。 12. この頃にはまだなくとも(10)で力を加えた等式にする。 14. 実験データ処理等について時間があれば発問するがまとめについては(12)TPで簡単(まとめる)。 15. (11)のデータについて以下の2つにわけられる。 - (12)がでなければ次時は等式の導き。 - (12)がでないとそれは次時は自由落下運動
③	全	1. 本時はシリーズ実験の3時間目であり発表を中心としたまとめの時間であることを本時の予告等を述べる。	1. 本時の目的及び本時の予定を明確にする。		
④	個	2. 発問に答える。	台車 (はねばね)	2. 台車に力を加えた時の運動	
⑤	個	3. ノートをとる。 (板書)		・加速度・力・質量は何で測定するか	
⑥	班	4. すべてにわたる発表班に準備 OHPのセット TPRの整理、TVのスイッチを入れる。		・三变量のうち何が固定しているか。	
⑦	全	5. VTR視聴。 自分達のゼミ及び実験色確認する。 子TV(2台)	VTR	4. VTRは発表班発表の準備について作成したもの(約1分)運動系の説明、異なる条件による台車の運動の比較。	
⑧	班	6. 発表班の発表(OHP) 口頭説明者と資料係とか協力して発表する。	OHP TPR (板書)	5. VTRは発表班発表の準備について作成したもの(約1分)運動系の説明、異なる条件による台車の運動の比較。	
⑨	個	7. 発表班の確認事項について質問。 8. 充分でない場合は発表者をせらるに補足説明。	(板書)	6. 発表者は内容によく理解し確認したこととその難度(2)を確認する。	
⑩	全	9. 他の班の測定例を紹介 F-αのグラフ(2例) M-αのグラフ(2例) F-Mxのグラフ(全部)。	OHP TPR	7. 他の班のグラフ(は教師かあらためTPで作成している)。	
⑪	全	10. 発表班のTPをつかって比例式(F=Mx)と等式(左F=Mx)に直す。	(板書)	8. 他の班のグラフ(は教師かあらためTPで作成している)。	
⑫	全	11. (12)に丁寧に各要素の単位を確認する。(質問) 12. グラフの傾きから比例係数を求める。力の単位の意義とともにF=Mxを導く。		9. (12)の頂に(は)なくとも(10)で力を加えた等式にする。	
⑬	全	13. 本時までの宿題内容についてまとめてする。 - 運動系の確認 - データ処理順序		10. 実験データ処理等について時間があれば発問するがまとめについては(12)TPで簡単(まとめる)。	
⑭	全	14. 本時までの宿題内容についてまとめてする。 - 運動系の確認 - データ処理順序	OHP TPR	11. (11)のデータについて以下の2つにわけられる。 - (12)がでなければ次時は等式の導き。 - (12)がでないとそれは次時は自由落下運動	
⑮	全	15. 次時の予定を述べる。			
⑯					

物理実験
力と加速度
(昭和49年度版)

年月日曜		大気	電池	氣圧
年	月	日	°C	mmHg
実験担当者	記入者			
実験題				

室蘭清水丘高等学校物理科

[実験の目的]

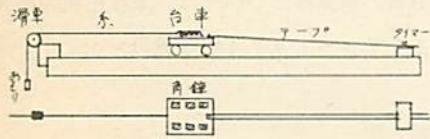
物体に力が作用すると、運動状態の変化、つまり加速度を生じます。この場合作用している力の大きさと、生じているかぎりの大きさと、物体の質量(質量)の3つの物理量の間にどのような量的な関係があるかについて以下の実験を行ない推定帰納しなさい。

[実験の用具]

木枠(アクリル板) 1枚、つりわ (1) 台車 (10号/15号/20号/8号用)
角鏡 (1) テープ (10)
高精度用テープ、支点タイマー (1) タイマー用コード (1)
C型クランプ (2) メスリ、滑車と滑車台。

[1時間目]

[実験の運動系]



[慣性の整理]

加速度は運動状態の良好な流れの打点より、次の直線を引く打点間隔を10個おき、表Iに記入してAT=1/2Sのグラフを書いて求めよ。尚この実験ではAT=1/2Sとなる。

[設問2]

運動中の台車に作用している力の静止時と運動時のいずれのバランスの中によるとか正しいか。

[2時間目]

[実験]

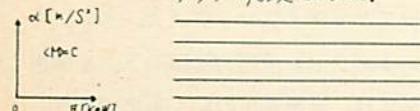
1時間目で行った事柄を確認して実験を行い表I及び表IIの残っている部分をういなさい。

[資料の解析]

表Iの資料に基づき以下のグラフを書いて、 $\langle F \rangle$ 、 $\langle \alpha \rangle$ 、 $\langle M \rangle$ の3つの物理量の間にみる関係を推定帰納せよ。

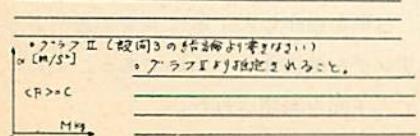
グラフI

。グラフより推定されることは。



[設問3]

グラフIは3つの直線 $\langle F \rangle$ 、 $\langle \alpha \rangle$ 、 $\langle M \rangle$ のうち $\langle M \rangle = C$ (-定)の組合せ $\langle F \rangle = C \cdot \alpha$ の間の関係をグラフにしてしまったのである。こ \times グラフより $\langle F \rangle = C$ の場合の $\langle F \rangle$ と $\langle \alpha \rangle$ の間の関係(は、どうような方法により求められるか)。



(設問1)

この実験で以下の物理量はどれどれどのよう間に測定されているか。又この実験は何次元の運動をつかっていられるか。

(1) $\langle F \rangle$

(2) $\langle \alpha \rangle$

(3) $\langle M \rangle$

(4) $\langle F \rangle = C \cdot \alpha$ 、 $\langle F \rangle = M \cdot a$ を示す。

[実験]

以下の各項をきめ、2度様子備実験を行った後、本実験を行ない、表I、IIについで出来たところまで実験をし、データを記入せよ。(残りの実験は次回(行)行)

(タイマー一体): 台車にアーチをとりつけ、実験系が止またらタイマーのスイッチを入れる。データは手でNOを入れる。

(記録板): 台車の運動前のバネの長さを記録取り板の記録欄に記入せよ。2名以上で見て手写いろ。

(始動係): 台車系、滑車系一括地にからよう停止後とたしかめ準備完了の確認と開始の指示、台車を走らせてみてはね。

(停止係): 走ってくろと車を滑車の前で止め、始動係に協力して実験系をセットする。

(表I)

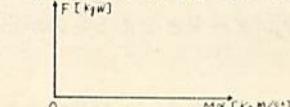
データNo.	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀	A/T	a
1											1/23	
2											1/25	
24											1/25	
25											1/25	

(表II)

データNo.	台車の質量 (kg)	台車の初期運動の質量 (kg)	運動開始時の質量 (kg)	運動開始時の質量 (kg)	初期速度 (m/s)	運動距離 (m/s ²)
1	M ₀ =					
2						
24						
25						

。グラフI及びIIより推定された事を総合して述べなさい。

・グラフII(グラフI、IIの結果を表IIより書きなさい)



[おまけ]

グラフI、IIより $\langle F \rangle$ 、 $\langle \alpha \rangle$ 、 $\langle M \rangle$ の間に何の怎な関係があると推定出来ますか。

(設問4) (1) グラフIIが原点を通らないのは何故ですか。

(2) グラフIIの傾き $(\Delta Mx / \Delta F)$ は何を意味していますか。

(3) (2)より F と Mx の等式を書きなさい。

[感想]

この実験書の加速度算出の部分は、本実験の前に、「運動の解釈」として、座標、時間、変位、速度、加速度について70%程の達成度で実験を実施すみであるため簡明になっているが、その準備がない場合は、その算出法をもっと詳細にする必要がある。

6) 実験

実験は2年生4クラスで平均5名よりなる10班編成で実施されたが、測定結果について一測定データは、生徒実験として精度は問題外なので割愛する—以下のようにあった。

イ) 加速度算出にミスがなければ（このミスは1クラス2名平均出ている）、相対誤差は大きい班で20%、小さい班では10%、平均15%程で結果が出ており、まず当初の予想通りであった。この種の実験では、これまでの経験によると平均で25%程の誤差が出るのが普通であるので、この点、精度はあえて追求しないとは云え高校レベルとしてもましまずといえよう。これは実験の運動系に多少の改良を加えたこと（後述）と、加速度算出の達成度が高かったことによると思われ、本実験を手がけて4年にして、やっと、スタンダードと云えるものが出来た感が強い。

ロ) 本実験は、作業量が多く、しかも班全員が負担しなければならないため、班のひとりでもミスがあると、その結果が全体に及ぶ。この事は、最終時間の発表で露見することになるが、これは各自に、かなりの反省を強いるようである。8~10時間におよぶ班として努力が、ミスをしたひとりのためにふいになってしまふわけで、その後のことを考えると、これは予想以上の効果があった。又誤差についても、むしろあるのが当然といった指導をすることにより、実験の本質に及ぶことが出来、この点も、各班の

データが出そろったところでの指導は、的を得ていると考えられる。

ハ) 以上の諸点を総合して、本実験は高校物理の全ての実験にこの形式を踏襲させるわけにはいかないが、年度に2度程は可能と思われ、冒頭に記したねらいにはまず適当と判断される。

又、下位目標等よりの構造化・システム化は、これ等目的をより容易にするテクノロジーとして、少なくとも従来の講議調よりは流れがスムーズになったことは明らかで、準備のための時間等を考慮すると、授業の全てをこの形式にすることは不可能に近いが、それだけの効果はあったと判断される。一事前・事後テスト、及び授業分析の結果等については、本校出版の研究紀要1973~1974年版参照—

3. 補足

イ) 交流記録タイマー駆動について
タイマーの駆動は通常商業用電源(50Hz)を用いているわけであるが、テープの摩擦力を少なくする意味と、折点間隔の関係から20Hz程度で振動することがのぞましく、①発振器(20Hz)→電力増幅(40Watt, Z=8Ω)→交流タイマー(10個)、が考えられたが、発振器の精度に問題があり、(水晶発振なら問題はないが、高校にはない)②商業電源→余波整流→フリップ・フロップ(1, 1/2, 1/4にカウントダウン)→電力增幅以下、を採用した。この形式は、充分満足のいくものである。

ロ) バネばかりつき台車について
実験の精度を多少は上げたい目的と、慣性力の概念も得させたいために、厚さ10mmのベニヤ板で、台車を自作した。車は627番のボールベアリングを油抜きして用いてある。イ) ロ)について、下図を参照されたい。

図2.

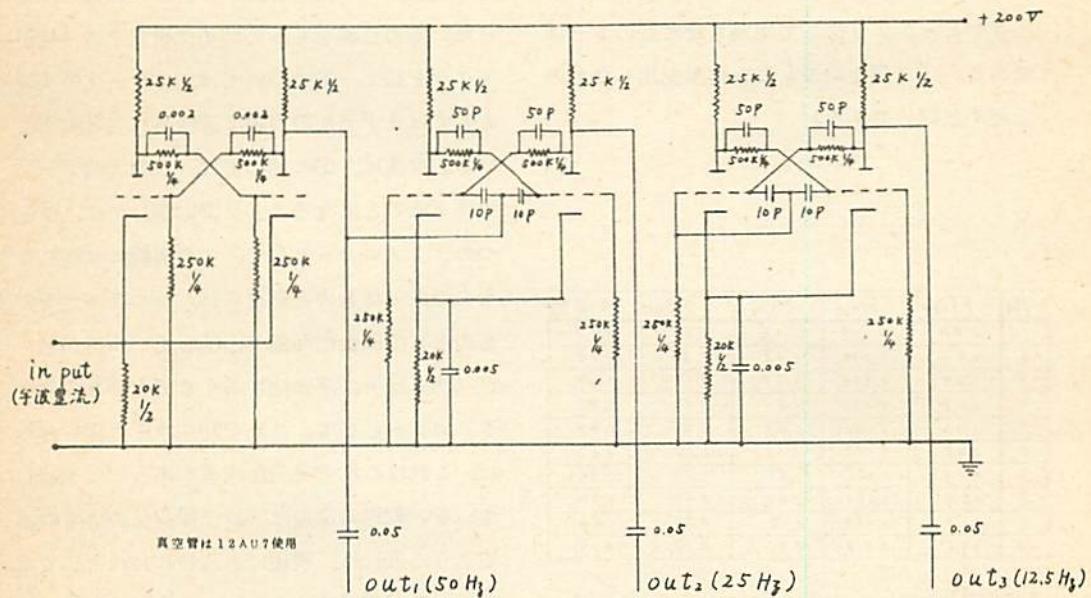
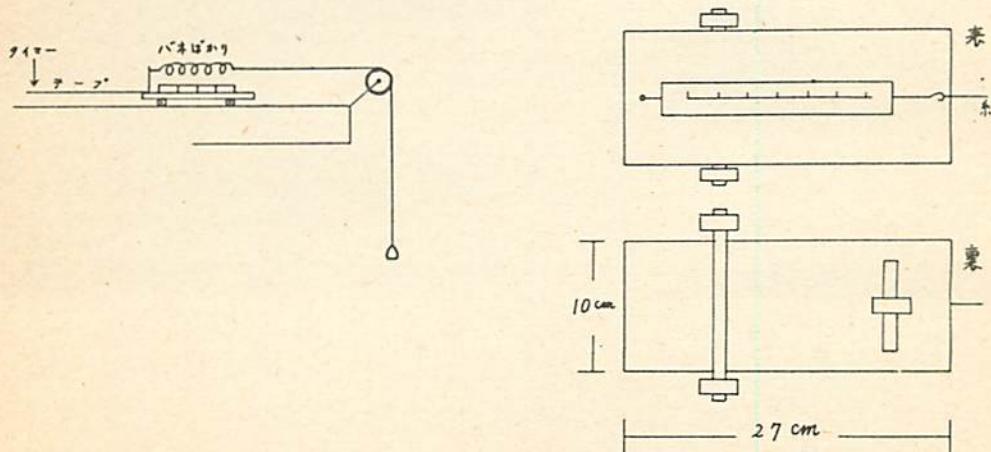


図3.



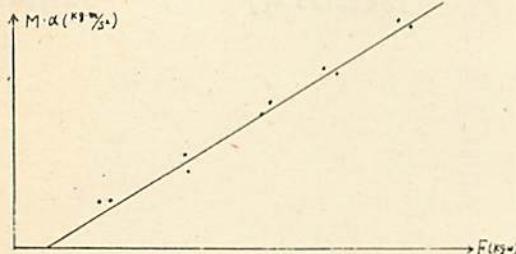
ハ) 実験データについて

2年生の全データは前述の如く割愛するが、これは、本実験の作業量その他をみるために、3年生をピックアップして実施させたものゝ一部である。（2年生の最もよい結果を出したものと殆んど同じである）

4. あとがき

すでに述べたように、①科学の手続きと考え方を重視したい。②教授学習方法の改善をはかりたい等の目標をもって進めた研究であったが、4ヶ年を経て、①については、本テーマの実験としてはまず当初の目標は達成されたと考えている。今後は、①に関しては、別の実験テーマで考えることになろう。又②に関しては、ひとつのテクノロジーとして、この実験には適したものであったものと考えられ、システム化そのものとしてはまだ問題が山積している感が強いが（例えはその評価法）あくまでもひとつのテクノロジーとして、これを利用する立場をとれば、これはこれで充分な成果があったと判断している。教育の原理は所詮二律背反の関係にあるように思われ、現場にあるわれわれとしては、いろいろな学習理論の良いところを折衷的に用いることが大切なのではないかと考えている。理科教育も、いろいろな他の部門の例にもれず、曲り角にきているものと思われるが、このような観点からのご指摘を含めて、ご忌憚のないご助言、ご叱正を心から期待している。

番号	F'_{kgw}	F_{kgw}	M_{kg}	$\alpha_{\%}$	$M \cdot \alpha_{\%}$
1	0.02	0.019	1.08	0.13	0.14
2	0.04	0.038	1.08	0.26	0.28
3	0.04	0.038	1.51	0.16	0.24
4	0.06	0.056	1.51	0.30	0.45
5	0.06	0.055	1.08	0.41	0.44
6	0.08	0.072	1.08	0.57	0.62
7	0.08	0.075	1.51	0.37	0.56
8	0.10	0.092	1.51	0.49	0.74
9	0.10	0.090	1.08	0.70	0.76
10	0.02	0.018	0.31	0.39	0.12



学会ニュース

○日本理科教育学会第25回全国大会開催要領

- 1.期日 昭和50年8月19日～21日
- 2.場所 北海道教育大学教育学部旭川分校
(旭川市北門町9丁目)
- 3.対象 学会会員及教育関係者、理科教育に
関心のある者。
- 4.参加人員 約500名(見込)
- 5.分科会 7分科会(予定)
- 6.関連団体
 - 主催 日本理科教育学会
 - 共催 北海道教育大学
 - 北海道教育委員会
 - 旭川教育委員会
 - 後援 北海道理科教育研究会
 - 旭川市教育研究会
 - 北海道理科教育協議会
 - 上川教育研究会
 - 北海道実践理科研究会
 - 日本物理教育学会北海道支部

昭和49年度支部研究発表の記録

○第1回研究会 昭和49年5月18日㈯

北大工学部

- ①学習過程と科学の方法をめぐる二、三の問題について — 奈良英夫(道教育庁)
- ②高等学校理科教育の基礎としての統計の取扱いについて — 秋山敏弘(道理科センター)
- ③「科学教育の現代化」にみられる「操作的概念」の解釈について — 諸橋清一(北教育大)
- ④科学教育映画を観る 「光の圧力」ほか2本

○第2回研究会 昭和49年12月7日㈯

北大工学部

- ①交流電流による棒磁石の付磁 後藤将允(網走小)
- ②「探究の過程」「科学の方法」への一考察 — 山田大隆(札幌藻岩高)
- ③波速と物質波 — 飯田紀子(札幌北斗高)
- ④研究協議「新しい物理の教科書をめぐって」
司会 北海道教育庁 奈良英夫
道理科教育センター 秋山敏弘

昭和50年3月15日印刷

昭和50年3月15日発行

日本物理教育学会北海道支部第3号

編集責任者 諸橋清一

発 行 札幌市北区北12条西8丁目

北海道大学工学部内

日本物理教育学会北海道支部

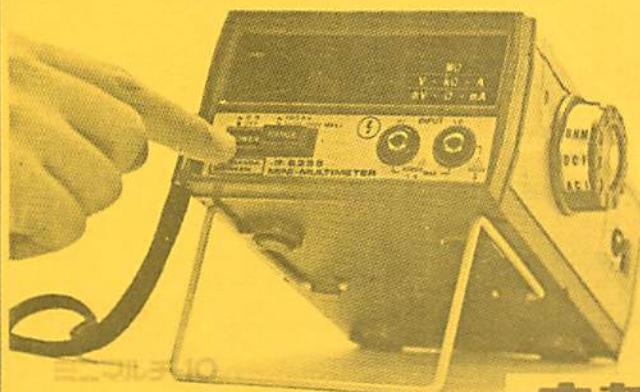
印 刷 所 北真出版(札幌市東区北16東16)



「フナツ」理研

ミニマルチ-10

「高分解能10 μ V DCV」が低価格で実現



1台で1入力5ファンクション測定

小さくても、すべて自動化

独自のLSI技術の完成

移動性と耐久性ポータブル化の基本です

島菱商事株式会社

札幌市南1条西7丁目本通東向 TEL札幌(241)8895(221)0007

学図の教科書

物理Ⅰ 物理Ⅰ問題集

物理Ⅱ 物理Ⅰ実験ノート

学校図書株式会社

本 社 東京都品川区北品川1-1-14 電話 (03)472-2811
東北支社 青森市安方2-16-14 和光ビル 電話 (0177)22-6432

理化学器械で社会に貢献する



実験台・ドラフトチヤンバー・汎用理化学機器

yamato

ヤマト科学株式会社

共通摺合器具・分折機器・環境測定器



柴田化學器械工業株式會社

高感度記録計・pH計・電導度計・温度滴定装置

TOA

東亜電波工業株式会社

テフロンダイヤフラム・ペローズポンプ・ケミカルポンプ



株式会社 イワキ

サーミスター温度計・調節計・サーミスター風速計



株式会社 芝浦電子製作所



津元理化産業株式会社

札幌市東区北6条東2丁目札幌総合卸センター

TEL 直通 (011) 711-4171 〒060-91

大代表 (011) 721-1161 内線 365~7

テレックス 933-290

苫小牧営業所 苫小牧市末広町1丁目11番地

T E L (0144) 34-5585 〒053